

EMセンサによる鉄筋実応力測定のための基礎的実験

木更津工業高等専門学校	学生会員	○松崎	裕亮
木更津工業高等専門学校	正会員	青木	優介
木更津工業高等専門学校	正会員	黒川	章二
木更津工業高等専門学校	正会員	嶋野	慶次
(株)計測リサーチコンサルタント	正会員	羅	黄順

1. はじめに

EMセンサとは、磁性体の透磁率が応力と温度により変化する性質を利用した、鉄筋の実応力測定センサである。その測定原理は、測定対象となる鉄筋の透磁率－応力－温度の三者関係をあらかじめ実験室で求めておき、現場においてその鉄筋の透磁率と温度をEMセンサにより測定することで、鉄筋に導入されている実応力が算出できるというものである¹⁾。

現段階での問題として、測定対象となる鉄筋の透磁率－応力－温度の三者関係をあらかじめ求める作業に手間がかかることと、その作業のために鉄筋の一部を構造物中から切り出してこなければならないことがある。ここで、同径の鉄筋であれば、製造条件や規格が違っていても同じ三者関係により応力が算出できるのであれば、これらの作業を省くことができる。本研究では、1本の鉄筋から求めた三者関係により、同径ではあるが、製造年代や製造工場および規格が異なる鉄筋の応力が算出可能かどうかを実験的に検討した。その結果、同径の鉄筋であれば、年代、工場、規格が違っていても±10%程度の誤差で応力を算出できることがわかった。

2. キャリブレーション

2.1 キャリブレーション関数の定義

測定対象となる鉄筋の透磁率－温度－応力の三者関係をあらかじめ求めておく作業をキャリブレーション、求められる三者関係をキャリブレーション関数と称する。キャリブレーション関数の関数形としては、鉄筋の透磁率に及ぼす応力と温度の影響を考慮できる式(1)の関数形を用いる。

$$\mu(\sigma, T) = \mu(0, 0) + m_1\sigma + m_2\sigma^2 + \alpha T \quad (1)$$

ここで、 $\mu(\sigma, T)$: 応力 σ [kN/mm²]、温度 T [°C]における鉄筋の透磁率、 $\mu(0, 0)$: 応力 0[kN/mm²]、温度 0[°C]における鉄筋の透磁率、 m_1, m_2 : 透磁率－応力関係から求められる実験定数、 α : 透磁率－温度関係から求められる実験定数である。このうち、透磁率 $\mu(\sigma, T)$ と温度 T は、現場においてEMセンサーにより測定するので、キャリブレーションにおいて実験定数 m_1, m_2 および α を求めれば、応力 σ が算出できることになる。

2.2 キャリブレーション関数の決定

本研究では、 $\phi 15\text{mm}$ のPC鋼棒(C種1号、1989年製造)1本についてキャリブレーションを行った。キャリブレーション時の様子を写真-1に示す。鉄筋の長さは1500mmである。両端250mmを載荷試験機とのフック長とし、中央部にEMセンサーを取り付け透磁率と温度を測定している。鉄筋を囲む炉内では、-20°C～60°Cまでの温度を一定にできる。

実験定数の決定過程を模式的に図-1に示す。応力を0とした状態での透磁率－温度関係を式(1)より近似して $\mu(0, 0)=1.753$ 、 $\alpha=-0.002$ を決定した。次に、温度を一定にした状態での透磁率－応力関係を同じく式(1)により近似して $m_1=1.035$ 、 $m_2=0.597$ を決定した。

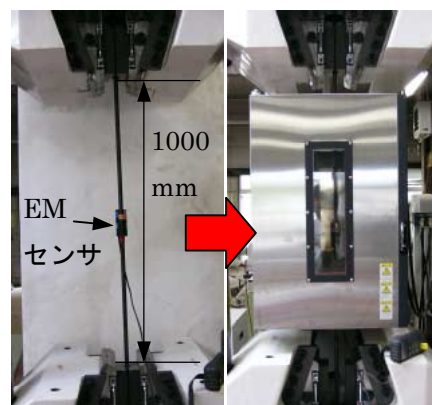


写真-1 キャリブレーション状況

キーワード EMセンサ、実応力、透磁率、PC鋼材

連絡先 〒292-0041 千葉県木更津市清見台東2-11-1 木更津高専環境都市工学科 TEL 0438-30-4129

3. 製造条件や規格が異なる鉄筋へのキャリブレーション関数の適用性に関する検討

3.1 検討方法

2章で求めたキャリブレーション関数を用いて、同径ではあるが、製造年代、製造工場、規格が異なる鉄筋の応力測定を行う。対象とした $\phi 15\text{mm}$ のPC鋼棒を表-1に示す。

各PC鋼棒には0~120kNまで引張载荷を行い、途中20kNごとに载荷試験機の荷重とEMセンサにより測定（算出）される荷重を比較することとした。なお、この一連の測定は同一鉄筋に対して3回繰り返している。

3.2 検討結果

各PC鋼棒における荷重の比較を図-2に示す。凡例は表-1を参照されたい。なお、本結果は、測定2,3回目の値を平均したものである。測定1回目の値を用いなかった理由については後述する。

キャリブレーションを行った鉄筋と同ロットとなる1989年I工場製造のC種鋼棒については、EMセンサで測定される荷重が载荷試験機の荷重よりも最大5%程度大きくなっている。ただし、キャリブレーションを行った当該鉄筋でも同じく+5%の誤差が出ていることから、同ロットの鉄筋の場合、1本の鉄筋から求めたキャリブレーション関数により、他の鉄筋の応力を極めて正確に算出できるといえる。+5%の誤差を無くすためには、キャリブレーション関数決定の際の精度を上げる必要がある。

2003年I工場製造のC種鋼棒については、EMセンサで測定される荷重が载荷試験機の荷重よりも最大9%程度小さくなる。2003年A工場製造のC種鋼棒、2003年I工場製造のB種鋼棒についても同様の結果であった。製造年代および工場、C種とB種の規格の違いがあろうとも、1本の鉄筋から求めたキャリブレーション関数により、鉄筋の応力を概ね正確に算出できるといえる。

3.3 測定1回目の値を用いなかった理由

2003年I工場製造のC種鋼棒について、測定1,2,3回目の荷重の比較を図-3に示す。これを見ると、測定1回目の値だけに大きな誤差が生じている。測定2,3回目の鉄筋が事前に荷重と十分な磁化を経験しているのに対し、測定1回目の鉄筋はどちらも未経験であり、ここに原因があると考えた。図中の●は、事前に120kNの荷重を経験させた鉄筋の測定1回目の値である。未経験の場合よりも誤差が改善されていることがわかる。今後は、磁化の経験の影響について検討を進める予定である。

4. まとめ

1本の鉄筋から求めたキャリブレーション関数により、同径であれば、年代、工場、規格が異なる鉄筋の応力を概ね正確に算出できる。ただし、荷重および十分な磁化を経験していない鉄筋については注意を要する。

参考文献

- 1) 羅 黄順：EMセンサーによるPC鋼材の実応力測定，プレストレストコンクリート，Vol.43，No.6，pp.99-103，Nov.2001

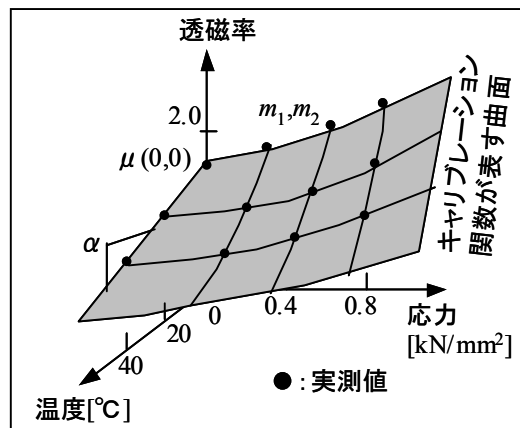


図-1 実験定数の決定過程

表-1 検討対象のPC鋼棒($\phi 15\text{mm}$)

製造年代	製造工場	規格	図-2凡例
1989年	I工場	C種	●※
			○
2003年	I工場	C種	△
		B種	×
	A工場	C種	□

※はキャリブレーションを行った当該鉄筋

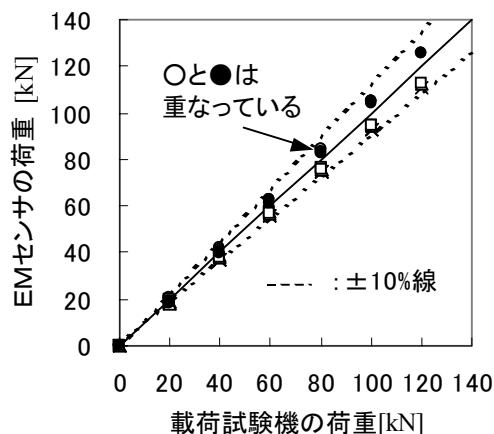


図-2 各PC鋼棒における荷重の比較

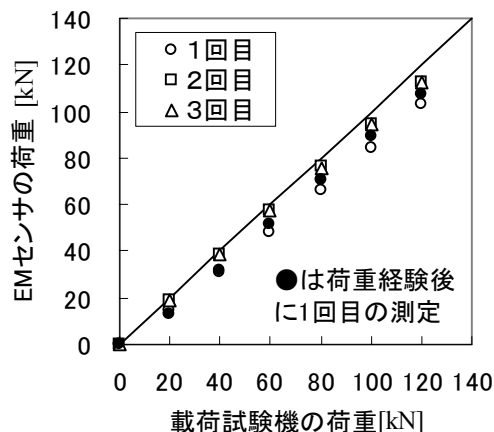


図-3 測定1,2,3回目の荷重の比較